



# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

## RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO, RENDIMENTO LÍQUIDO E RENDIMENTO EM GASES NÃO CONDENSÁVEIS DA MADEIRA DE UVA-DO- JAPÃO (*Hovenia dulcis*) EM DIFERENTES MARCHAS DE CARBONIZAÇÃO

EVELYN RAPHAELA NAEGELER DE SOUZA<sup>1</sup>

Davidson da Silva Novaes<sup>1</sup>

Luana Campos Nunes<sup>1</sup>

Raquel Priscila Castiane<sup>1</sup>

Fernanda GUYSS<sup>1</sup>

Ariane Sommer Rebolho<sup>1</sup>

FLAVIA PEREIRA<sup>1</sup>

Cintia Gonçalves Escobar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### INFLUÊNCIA DA MARCHA DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA DE UVA-DO-JAPÃO (*Hovenia dulcis*) NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

Evelyn Rafaela Naegeler de **SOUZA**<sup>2</sup>; Luana Campos **NUNES**<sup>2</sup>; Davidson da Silva **NOVAES**<sup>2</sup>; Ariane Sommer **REBOLHO**<sup>2</sup>; Fernanda **GUYSS**<sup>2</sup>; Raquel Priscila **CASTIANI**<sup>2</sup>; Cintia Gonçalves **ESCOBAR**; <sup>2</sup>Flávia Alves **PEREIRA**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professora Dr. da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<sup>2</sup>Alunos do curso de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

**RESUMO:** O Brasil é maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, sendo que a maior demanda vem do setor siderúrgico, utilizando o carvão para a produção de ferro-gusa, ferro-liga e aço. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das diferentes marchas de carbonização da madeira de *Hovenia dulcis* nos rendimentos em carvão vegetal, líquidos condensáveis e não condensáveis. Foram utilizadas quatro diferentes marchas de carbonização, com tempo total de 4h, 5h, 5h30min e 6h. Para cada marcha (tratamento) foram realizadas cinco repetições, totalizando 20 carbonizações. A análise química imediata do carvão vegetal foi determinada baseando-se na metodologia descrita pela ABNT NBR 8112 (1983). O teor de umidade do carvão de *Hovenia dulcis* nas marchas 1 e 2 não diferiram, significativamente entre si, com médias iguais a 3,65% e 3,76%, respectivamente. Os maiores teores de materiais voláteis foram os observados nas marchas 1, com 27,14% e marcha 2, com 28,37%. Apenas os teores de cinza das marchas 2 e 4 diferiram significativamente, com valores iguais a 0,94% e 2,72%, respectivamente. Os maiores teores de carbono fixo foram verificados nas marchas 4, com 75,32% e a marcha 5, com 73,60%. Concluiu-se que os maiores teores de materiais voláteis foram observados nas marchas de carbonização de 4h e 5h. Os teores de cinza, de modo geral, não tiveram uma tendência de aumento, em função dos tratamentos, e os maiores teores de carbono fixo foram obtidos nas carbonizações realizadas por 5h e 30 min, não diferindo daqueles produzidos em marchas de 6h.

**Palavras-chave:** carvão vegetal, rendimento gravimétrico, licor pirolenhoso, *Hovenia dulcis*, marcha de carbonização.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### INFLUENCE OF THE CARBONIZATION MARKING OF JAPAN (*Hovenia dulcis*) WOOD IN THE PRODUCTION OF VEGETABLE CHARCOAL

**ABSTRACT:** Brazil is the world's largest producer and consumer of charcoal, with the highest demand coming from the steel sector, using charcoal for the production of pig iron, alloy iron and steel. The aim of this study was to evaluate the influence of the different carbonization rates of *Hovenia dulcis* timber on charcoal yields, condensable and non-condensable liquids. Four different carbonization rates were used, with total time of 4h, 5h, 5h30min and 6h. For each rate (treatment), five replications took place, totalling 20 carbonizations. The immediate chemical analysis of charcoal was determined based on the methodology described by ABNT NBR 8112 (1983). The humidity content of *Hovenia dulcis* charcoal in rates 1 and 2 did not differ significantly from each other, with averages equal to 3.65% and 3.76%, respectively. The highest contents of volatile materials were observed in rate 1, with 27.14% and rate 2, with 28.37%. Only the ash content values of rates 2 and 4 differed significantly, with values equal to 0.94% and 2.72%, respectively. The highest levels of fixed carbon were recorded in rates 4, with 75.32% and rate 5, with 73.60%. It was concluded that the highest contents of volatile materials were observed in the carbonization rates of 4h and 5h. The ash content values did not tend to increase as a function of the treatments, and the highest fixed carbon contents were obtained in the carbonizations that took place for 5h and 30min, not differing from those produced in 6h rate.

**Key words:** charcoal, gravimetric yield, pyrolignous liqueur, *Hovenia dulcis*, carbonization rate.

#### 1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento mais adequado e eficiente da biomassa florestal é hoje uma necessidade.

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal, sendo que a maior demanda vem das indústrias siderúrgicas, que o utilizam como matéria-prima na produção de ferro-gusa, ferro-liga e aço.

A qualidade da madeira é importante para que o carvão vegetal produzido tenha geração de finos, maior poder calorífico, maior densidade, alta resistência mecânica e rendimento gravimétrico. Dentre os critérios para seleção da madeira destaca-se a densidade básica, a constituição química, o poder calorífico (OLIVEIRA et al., 2010). Além das características relacionadas à madeira, deve-se atentar às condições do processo da carbonização.

Diferentes marchas de carbonização poderão ser utilizadas na carbonização da madeira e, essas variações do processo, poderão refletir nos rendimentos em carvão vegetal, líquidos condensáveis e não condensáveis.

Dependendo das características, tanto da madeira como do produto final requerido (carvão ou licor pirolenhoso), diferentes marchas poderão ser empregadas, visando possibilitar maior produtividade dos fornos, decorrente da diminuição do tempo total de carbonização.

A *Hovenia dulcis*, popularmente chamada de uva-do-Japão, é uma espécie arbórea originária da Ásia, pertencente à família das Rhamnaceae.

A espécie ocorre no Brasil, predominantemente, na região sul do país, sendo largamente cultivada de forma isolada ou em pequenos talhões. Sua madeira possui grande

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

potencial na construção civil, para produção de moveis, vigas, tábuas, polpa e papel e como fonte energética (CARVALHO, 1994).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das diferentes marchas de carbonização da madeira de *Hovenia dulcis* nos rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, líquidos condensáveis e não condensáveis.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Carbonização da madeira em forno mufla

As madeiras de *Hovenia dulcis* utilizadas no presente trabalho, são madeiras provenientes de um fragmento florestal situado no Campus Dois Vizinhos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. As toras da espécie foram seccionadas em discos e em seguida, transformados em cavacos, manualmente.

Amostras de 280g de cavacos foram pesados, em balança analítica, e secas em estufa com circulação forçada de ar, à  $103 \pm 2$  °C, até atingirem peso constante. Em seguida, foram colocadas em um dessecador e pesadas, novamente, para determinação do teor de umidade.

Os cavacos foram dispostos em uma retorta metálica que, depois de fechada, foi introduzida no interior de um forno mufla, com aquecimento elétrico, dando início ao processo de carbonização.

O controle de aquecimento foi realizado em quatro diferentes marchas de carbonização (tratamentos), conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Temperatura e tempo de carbonização em função da marcha de carbonização

Marcha	Temperatura (°C)							Taxa de aquecimento (°C/min <sup>-1</sup> )	Tempo total
	150	200	250	300	350	400	450		
1	-	30 min	30 min	1 hora	1 hora	30 min	30 min	1,87	4 horas
2	30 min	1 hora	1h30	-	1h30	-	30 min	1,5	5 horas
3	1 hora	1 hora	1h30	-	1h30	-	30 min	1,36	5h30min
4	1 hora	1 hora	1h30	-	1h30	-	1 hora	1,25	6 horas

O licor pirolenhoso foi recuperado pela condensação com água, ou seja, os gases/vapores foram direcionados para um condensador tubular, sendo realizado o recolhimento com o auxílio de um kitassato.

Após as carbonizações, calculou-se os rendimentos gravimétricos, rendimento líquido e o rendimento em gases não condensáveis.

### 2.2 Propriedades do carvão vegetal

O rendimento em carvão, líquido pirolenhoso e em gases não condensáveis foram determinados a partir das Equações 1, 2 e 3, respectivamente:

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

$$R_c = \left( \frac{P_c}{P_m} \right) \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

$$R_l = \left( \frac{P_l}{P_m} \right) \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

$$R_{gnc} = 100 - (R_l + R_c) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

R<sub>c</sub> = rendimento em carvão (%);

P<sub>c</sub> = peso do carvão;

P<sub>m</sub> = peso seco dos cavacos de madeira;

R<sub>l</sub> = rendimento em líquido pirolenhoso (%);

P<sub>l</sub> = peso do líquido pirolenhoso;

R<sub>gnc</sub> = Rendimento em gases não condensáveis (%).

## 2.3 Análise Química

Para cada marcha de carbonização, foram realizadas cinco repetições. O carvão vegetal, produzido em cada uma delas, foi homogeneizado e macerado. Em seguida, os finos foram classificados com auxílio de peneiras, selecionando-se aqueles que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidos na peneira de 60 mesh. Em seguida, determinou-se a análise química imediata do carvão vegetal, baseando-se na metodologia descrita na norma ABNT NBR 8112 (1983).

## 2.4 Análise estatística dos dados

Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o Software Assisat Beta versão 7.7. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento. Os resultados do rendimento do carvão, rendimento em licor pirolenhoso e rendimento em gases não condensáveis, foram submetidos a análise de variância. Quando as diferenças foram significativas, aplicou-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparação das médias.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do rendimento gravimétrico em carvão vegetal, líquido pirolenhoso e gases-não condensáveis não diferiram entre si, nas diferentes machas de carbonização utilizadas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de rendimento em carvão, Licor pirolenhoso e gases não condensáveis

MARCHA	RC (%)	RL (%)	RGNC (%)
1	31,20 a	48,91 a	19,89 a
2	31,47 a	50,19 a	18,34 a
3	30,92 a	45,98 a	23,10 a
4	31,24 a	43,76 a	25,00 a

RC= rendimento gravimétrico em carvão; RL= rendimento gravimétrico em licor pirolenhoso; RGNC= rendimento gravimétrico em gases não condensáveis. As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si, ao longo da coluna, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Dentre as variáveis que envolvem o processo de carbonização da madeira, o rendimento gravimétrico é aquele de maior interesse. A fumaça, geralmente, não é recuperada pelos produtores e algumas outras empresas fazem a queima destes gases.

O rendimento em carvão, condensados e não-condensados são diretamente afetados pelas condições em que a madeira é carbonizada (VALE et al., 2010).

Segundo Trugilho et al. (1997), as características da madeira, como alta densidade e teor de lignina, baixo teor de cinzas, fibras de paredes mais grossas, são responsáveis pela qualidade e maiores rendimento do carvão vegetal.

Soares et al., (2014) carbonizaram madeiras do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e obtiveram médias de rendimento gravimétrico, licor pirolenhoso e gases não condensáveis variando entre, 31,61 a 33,06, 38,55 a 44,19 e 25,26 a 28,39, respectivamente. Os valores observados neste estudo foram semelhantes àqueles da *Hovenia dulcis*. Ressalta-se que a espécie utilizada por Soares et al., (2014) tem uso difundido, comercialmente, na geração de energia. Assim, a utilização da madeira de *Hovenia dulcis* pode vir a ser uma alternativa factível para esta finalidade.

Souza et al. (2017), avaliaram a influência da taxa de aquecimento e do tempo de carbonização nos rendimentos da madeira de Jurema-preta. Estes autores obtiveram 42,94% de carvão vegetal, 25% de licor pirolenhoso e 32,05% de gases não-condensáveis, utilizando um tempo total de 4 horas e taxa de aquecimento de 1,87 °C.min<sup>-1</sup>. Estes valores não estão de acordo com aqueles obtidos com a *Hovenia dulcis*, submetida a mesma taxa de aquecimento (marcha 1), em que houve um menor rendimento em carvão vegetal, 31,20%, e gases não condensáveis, 19,89%, e maior rendimento em licor pirolenhoso, 48,91%.

Oliveira et al, (2010) ao carbonizar cavacos de *Eucalyptus pellita* a uma taxa de 1,25 °C.min<sup>-1</sup>, obtiveram médias iguais a 32,11% de rendimento em carvão, 58,95% para o líquido pirolenhoso e 8,93% gases não condensáveis. Estes valores foram próximos aos observados com a *Hovenia dulcis*, carbonizada por 6 horas e mesma taxa de aquecimento, 1,25 °C.min<sup>-1</sup>, em que foi obtido 31,24% de rendimento gravimétrico, 43,76% licor pirolenhoso e 25% de gases não condensáveis.

Shen et al. (2010) explica que o rendimento em gases não condensáveis aumenta linearmente a medida que se eleva sua temperatura, variando de 18 a 42%, para temperaturas de 400 a 700 °C.



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

Arruda et al (2013) analisaram o rendimento de gases não condensáveis da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, e verificaram médias de 19,26%, com taxa de aquecimento de 1,53. Estes valores foram semelhantes aos observados nesse trabalho, com médias entre 19,89 a 25% e taxas de aquecimento entre 1,25 e 1,87.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo do carvão vegetal, em função das marchas de carbonização.

Tabela 3. Valores médios de teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo do carvão vegetal, em função da marcha de carbonização.

MARCHA	TU (%)	MV (%)	TC (%)	TCF (%)
1	3,65 a	27,14 a	1,56 ab	71,30 b
2	3,76 a	28,37 a	0,94 b	70,69 b
3	2,02 b	23,21 b	1,47 ab	75,32 a
4	0,76 c	23,67 b	2,72 a	73,60 ab

TU = teor de umidade, MV = teor de materiais voláteis, TC = teor de cinzas e TCF = teor de carbono fixo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O teor de umidade do carvão *Hovenia dulcis* nas marchas 1 e 2 não diferiram, significativamente entre si, com médias iguais a 3,65% e 3,76%, respectivamente. Baixos teores de umidade são preferíveis, pois interferem diretamente na qualidade do carvão vegetal. Quanto maior estes teores, menor a energia liberada durante a queima, mais emissão de fumaça e finos.

Os maiores teores de materiais voláteis foram os observados nas marchas 1, com 27,14% e marcha 2, com 28,37%. Os voláteis são despreendidos da madeira durante a carbonização e/ou queima de carvão, modificando sua estrutura (CARMO, 1988). Pode-se observar que, com o aumento do tempo e temperatura, o teor de voláteis diminuiu. Isso se deve à maior exposição da madeira a temperaturas elevadas e à maior intensidade de substâncias que se despreendem do carvão. Souza et al. (2017) fizeram carbonizações com Jurema-preta por 6 horas e temperatura final de 500 °C. Estes autores observaram médias iguais a 20%, valores próximos aos obtidos com a marcha 4.

De modo geral, não houve uma tendência de aumento do teor de cinzas, em função da marcha de carbonização. Apenas os teores de cinza das marchas 2 e 4 diferiram significativamente, com valores iguais a 0,94% e 2,72%, respectivamente. Baixos teores de cinzas são requeridos pois este material, por ser abrasivo, pode ocasionar problemas de corrosão em equipamentos metálicos e comprometer a produção de ferro-gusa, ferro-liga e metais não ferrosos. Cotta (1996) afirma que a cinza é um resíduo mineral, inorgânico e, quanto maior a quantidade destes materiais, maior a produção de cinzas no carvão.

Os maiores teores de carbono fixo foram verificados nas marchas 4 e 5, com valores iguais a 75,32% e 73,60%, respectivamente. O carbono fixo é a quantidade de carbono presente no carvão e tem relação diretamente proporcional com os teores de lignina, extrativos e massa específica da madeira.

Miranda et al. (2013), fizeram a caracterização química da *Hovenia dulcis* e observaram elevado teor de lignina, 27,24%. Com isso, sugeriram que este material tem alto potencial para aplicação como recurso energético.

Oliveira et al. (2010) determinaram que o teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis. Para os carvões produzidos com madeira de *Eucalyptus pellita*, os maiores teores de carbono fixo e, conseqüentemente, os menores teores de materiais voláteis, foram obtidos nas marchas de carbonização com menor rendimento gravimétrico. Essa condição não foi observada no presente estudo, pois o

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

rendimento em carvão vegetal foi semelhante nas diferentes marchas de carbonização. Entretanto, as carbonizações conduzidas por 5h e 30 minutos resultou em carvões com maiores teores de carbono fixo, não diferindo daqueles produzidos por 6h.

A madeira da *Hovenia dulcis* ainda é pouco explorada, no entanto, é um material promissor, sendo necessário mais estudo no que diz respeito ao beneficiamento e utilização da mesma, respeitando seu uso e garantindo seu controle frente as outras espécies nativas.

O desenvolvimento de pesquisas na área de tecnologia da madeira da uva-do-japão torna-se cada vez mais necessário, visando o seu melhor aproveitamento e explorar todo seu potencial.

## 4. CONCLUSÕES

O rendimento gravimétrico em carvão, em líquido pirolenhoso e em gases-não condensáveis foram semelhantes, nas diferentes marchas de carbonização.

Os maiores teores de materiais voláteis foram observados nas marchas de carbonização de 4h e 5h. Os teores de cinza, de modo geral, não tiveram uma tendência de aumento, em função dos tratamentos, e os maiores teores de carbono fixo foram obtidos nas carbonizações realizadas por 5h e 30 min, não diferindo daqueles produzidos em marchas de 6h.

## 5. REFERÊNCIA

ARRUDA, T. P. M. DE et al. **Propriedades da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para uso energético no mato grosso.** Revista de Ciências Agroambientais, Alta Floresta, MT, v.11, n.2, p.127-136, 2013

CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da Uva-do-Japão.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 24p. (Circular Técnica, 23).

CARMO, J. S. **Propriedades físicas e químicas do carvão vegetal destinado à siderurgia e metalurgia. 1988.** Monografia (Graduação em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do Carvão Vegetal para Siderurgia.** Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 1996.

MIRANDA, V. O. R. et al. **Caracterização química e potencial de utilização da madeira de *Hovenia dulcis* Thunb.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.9, n.17, p.628, 2013.

OLIVEIRA, C. A. et al. **Parâmetros de qualidade e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell.** Scientia Forestalis, v.38, n.87, p.431-439, 2010.

SHEN, R.; GU, S.; BRIDGWATER, A. V. **The thermal performance of the polysaccharides extracted from hardwood: Cellulose and hemicelluloses.** Carbohydrate Polymers, v.82, p. 39-45, 2010.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

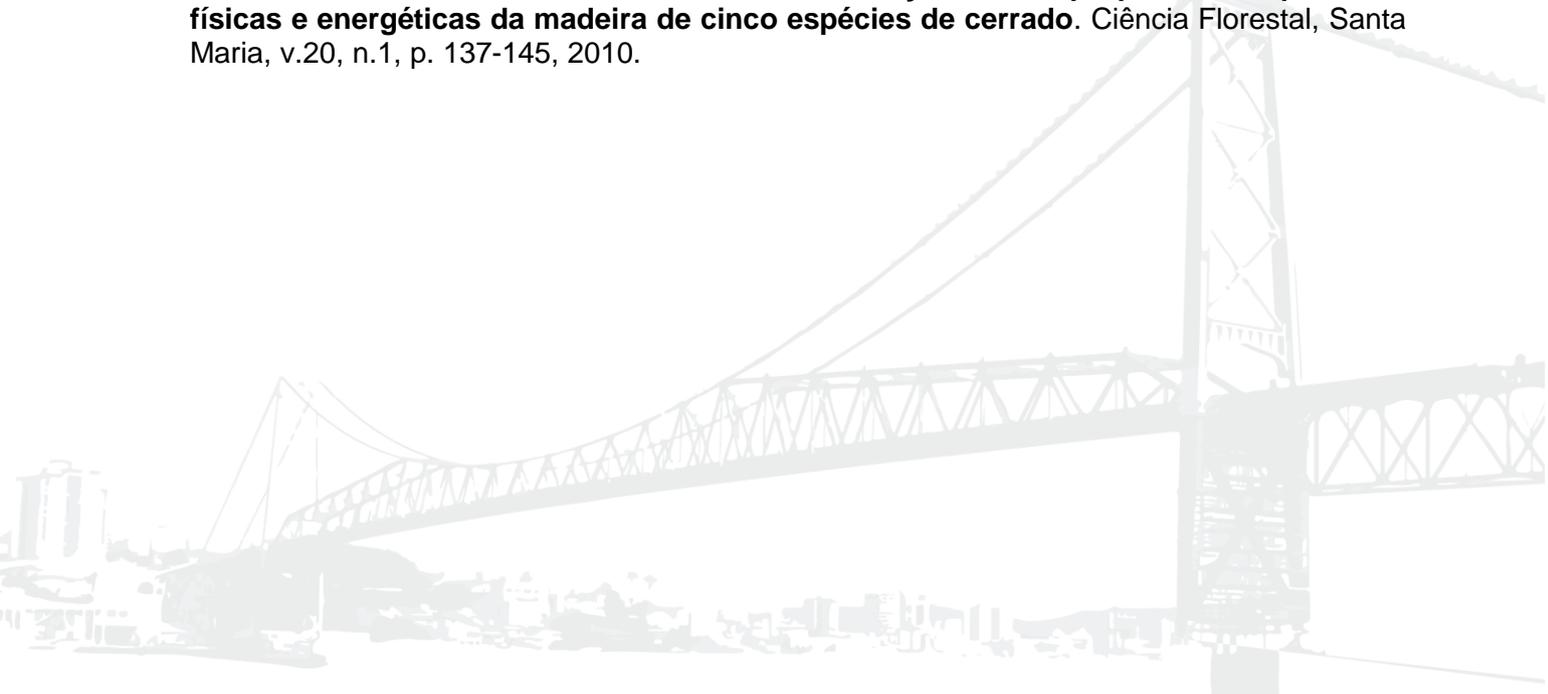
Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

SOARES V. C. et al. **Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de *Eucalipto***. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.38, n.3, p.543-549, 2014

SOUZA, C. E. et al. **Influência da marcha de carbonização na qualidade do carvão vegetal de Jurema – Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.)**. 2017. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/44350903-Influencia-da-marcha-de-carbonizacao-na-qualidade-do-carvao-vegetal-de-jurema-preta-mimosa-tenuiflora-willd-poir.html>>. Acessado em 03 de junho de 2017.

TRUGILHO, P. F. et al. **Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 259-267, mar./abr. 1997.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. **Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado**. Ciência Florestal, Santa Maria, v.20, n.1, p. 137-145, 2010.



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

